

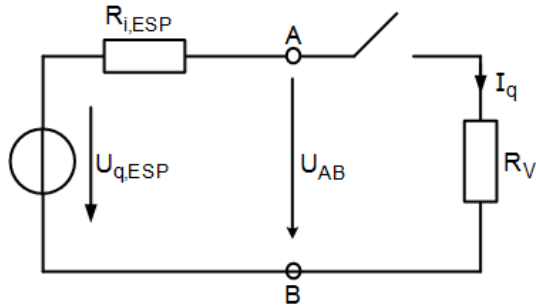
Aufgabe 1.1: Ersatzwiderstand, Leerlaufspannung (5 Punkte)a) Ersatzwiderstand R_{AB} :

$$R_{AB} = R + R = 2 \cdot R = 2 \cdot 12 \, \Omega = 24 \, \Omega$$

b) Leerlaufspannung $U_{AB,LL}$:

$$U_{AB,LL} = I_q \cdot R = 5 \, A \cdot 12 \, \Omega = 60 \, V$$

c) Darstellung als Ersatzspannungsquelle:



$$R_{i,ESP} = R_{AB} = 24 \, \Omega$$

$$U_{q,ESP} = U_{AB,LL} = 60 \, V$$

Aufgabe 1.2: Leistungen (10 Punkte)a) Ersatzwiderstand $R_{ers,1}$:

$$R_{ers,a} = \frac{R \cdot R}{(R + R)} = \frac{R}{2} = \frac{12 \, \Omega}{2} = 6 \, \Omega$$

$$R_{ers,b} = R_{ers,a} + R = 6 \, \Omega + 12 \, \Omega = 18 \, \Omega$$

$$R_{ers,1} = \frac{R_{ers,b} \cdot R}{R_{ers,b} + R} = \frac{18 \, \Omega \cdot 12 \, \Omega}{18 \, \Omega + 12 \, \Omega} = 7,2 \, \Omega$$

b) Spannung U_q :

$$U_q = I_q \cdot (2 \cdot R + R_{ers,1}) = 5 \, A \cdot (2 \cdot 12 \, \Omega + 7,2 \, \Omega) = 5 \, A \cdot 31,2 \, \Omega = 156 \, V$$

c) Gesamte Leistung $P_{ges,1}$:

$$P_{ges,1} = 2 \cdot R \cdot I_q^2 + R_{ers,1} \cdot I_q^2 = 24 \, \Omega \cdot (5 \, A)^2 + 7,2 \, \Omega \cdot (5 \, A)^2 = 780 \, W$$

- d) Leistungsbilanz: **Leistung die in den Widerständen umgesetzt wird muss von der Quelle geliefert werden.**

$$P_{\text{ges},1} = P_{\text{Quelle}} = U_q \cdot I_q = 156 \text{ V} \cdot 5 \text{ A} = 780 \text{ W}$$

Aufgabe 1.3: Leistung im Verbraucher (5 Punkte)

- a) Strom I_V , die Spannung U_{AB} und die Leistung P_V :

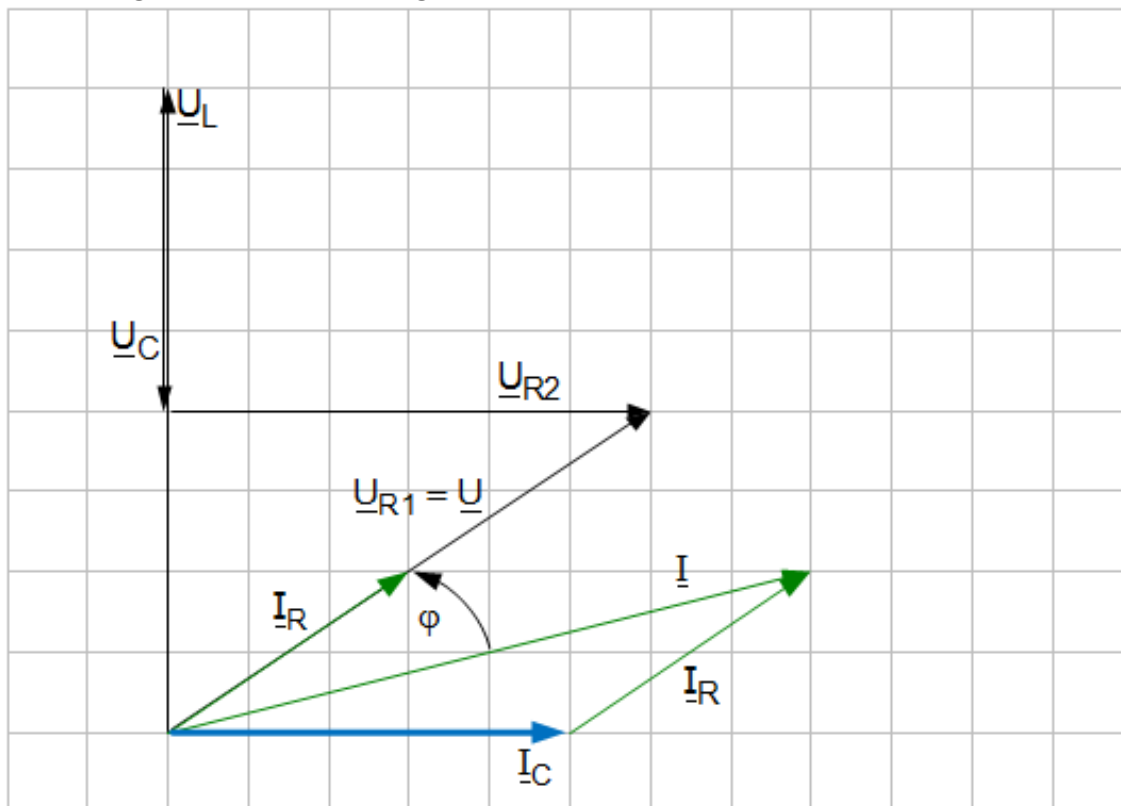
$$\text{Stromteilerregel: } I_V = I_q \cdot \frac{R}{R + R + R_V} = 5 \text{ A} \cdot \frac{12 \Omega}{12 \Omega + 12 \Omega + 6 \Omega} = 2 \text{ A}$$

$$U_{AB} = U_V = R_V \cdot I_V = 6 \Omega \cdot 2 \text{ A} = 12 \text{ V}$$

$$P_V = U_V \cdot I_V = 12 \text{ V} \cdot 2 \text{ A} = 24 \text{ W}$$

Aufgabe 2.1 Zeigerdiagramm (6 Punkte)

- a) $X_C < X_L$ bedeutet $U_C < U_L$



b) Phasenverschiebungswinkel φ in das Zeigerdiagramm oben eintragen!

Die Schaltung wirkt **ohmsch-induktiv**, weil $0^\circ < \varphi < 90^\circ$

Aufgabe 2.2

Impedanz und Ströme (11 Punkte)

a) Ersatzimpedanz $\underline{Z}_{\text{LCR}}$ in Exponentialform:

$$\underline{Z}_{\text{LCR}} = j \cdot \omega \cdot L + \frac{1}{j \cdot \omega \cdot C} + R_2 = R_2 + j \cdot (X_L - X_C) = 3 \, \Omega + j \cdot (12 \, \Omega - 8 \, \Omega) = 3 \, \Omega + j \cdot 4 \, \Omega$$

$$Z_{\text{LCR}} = |\underline{Z}_{\text{LCR}}| = \sqrt{(3 \, \Omega)^2 + (4 \, \Omega)^2} = 5 \, \Omega$$

$$\varphi_Z = \arctan\left(\frac{4 \, \Omega}{3 \, \Omega}\right) \approx 53^\circ$$

$$\underline{Z}_{\text{LCR}} = 5 \, \Omega \cdot e^{j \cdot 53^\circ}$$

Wenn alles richtig.

b) Ströme und deren Effektivwerte:

$$\underline{I}_R = \frac{\underline{U}}{R_1} = \frac{10 \, \text{V}}{5 \, \Omega} = 2 \, \text{A}$$

$$I_R = |\underline{I}_R| = 2 \, \text{A}$$

$$\underline{I}_C = \frac{\underline{U}}{\underline{Z}_{\text{LCR}}} = \frac{10 \, \text{V}}{5 \, \Omega \cdot e^{j \cdot 53^\circ}} = 2 \, \text{A} \cdot e^{-j \cdot 53^\circ}$$

$$I_C = |\underline{I}_C| = 2 \, \text{A}$$

$$\underline{I} = \underline{I}_R + \underline{I}_C = 2 \, \text{A} + 2 \, \text{A} \cdot (\cos(53^\circ) - j \cdot \sin(53^\circ)) = 2 \, \text{A} + 1,2 \, \text{A} - j \cdot 1,6 \, \text{A} = 3,2 \, \text{A} - j \cdot 1,6 \, \text{A}$$

$$I = |\underline{I}| = \sqrt{(3,2 \, \text{A})^2 + (1,6 \, \text{A})^2} = 3,6 \, \text{A}$$

c) Scheinleistung $\underline{S}$, Wirkleistung P und Blindleistung Q :

$$\underline{S} = \underline{U} \cdot \underline{I}^* = 10 \, \text{V} \cdot (3,2 \, \text{A} + j \cdot 1,6 \, \text{A}) = 32 \, \text{VA} + j \cdot 16 \, \text{VA}$$

$$P = \text{Re}(\underline{S}) = 32 \, \text{W}$$

$$Q = \text{Im}(\underline{S}) = 16 \, \text{var}$$

$Q > 0 \Rightarrow$ induktive Blindleistung

d) Wirkleistung P und Blindleistung Q mit Strom-Effektivwerten:

$$P = R_1 \cdot I_R^2 + R_2 \cdot I_C^2 = 5 \, \Omega \cdot (2 \, \text{A})^2 + 3 \, \Omega \cdot (2 \, \text{A})^2 = 20 \, \text{W} + 12 \, \text{W} = 32 \, \text{W}$$

$$Q = X_L \cdot I_C^2 - X_C \cdot I_C^2 = 12 \, \Omega \cdot (2 \, \text{A})^2 - 8 \, \Omega \cdot (2 \, \text{A})^2 = 48 \, \text{var} - 32 \, \text{var} = 16 \, \text{var}$$

Die Ergebnisse sind gleich wie in c) – muss auch so sein!

Aufgabe 2.3

Kompensation der Blindleistung (3 Punkte)

a)

Für die Kompensation von induktiver Blindleistung wird kapazitive Blindleistung benötigt.

Daher muss ein Kondensator verwendet werden. Diesen schaltet man zweckmäßig parallel zur Spannungsquelle, da dann die Spannung an C maximal ist und C somit minimal wird!

b)

$$Q_C = Q = 16 \, \text{var} = \frac{U^2}{X_{C1}} \quad X_{C1} = \frac{U^2}{Q_C} = \frac{100 \, \text{V}^2}{16 \, \text{var}} = 6,25 \, \Omega$$

$$C_1 = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot f \cdot X_{C1}} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 50 \, \text{Hz} \cdot 6,25 \, \Omega} \approx 509 \, \mu\text{F}$$

Aufgabe 3.1:

Stationäre Ströme und Spannungen 1 (4 Punkte)

a) Strom $i_{C,\text{stat1}}(t)$ und die Spannung $u_{C,\text{stat1}}(t)$:

Der Kondensator ist entladen, daher ist $i_{C,\text{stat1}} = 0 \, \text{A}$ und $u_{C,\text{stat1}} = 0 \, \text{V}$

b) Ströme $i_{\text{stat1}}(t)$ und $i_{1,\text{stat1}}(t)$ und die Spannungen $u_{R1,\text{stat1}}(t)$ und $u_{R2,\text{stat1}}(t)$:

$$i_{\text{stat1}} = i_{1,\text{stat1}} = \frac{U}{2 \cdot R} = \frac{40 \, \text{V}}{20 \, \Omega} = 2 \, \text{A}$$

$$u_{R1,\text{stat1}} = u_{R2,\text{stat1}} = R \cdot i_{\text{stat1}} = 10 \, \Omega \cdot 2 \, \text{A} = 20 \, \text{V}$$

Aufgabe 3.2: Stationäre Ströme und Spannungen 2 (2 Punkte)a) Strom $i_{C,stat2}(t)$:Der Kondensator ist vollgeladen, daher ist $i_{C,stat2} = 0 \text{ A}$ b) Ströme $i_{stat2}(t)$ und $i_{1,stat2}(t)$:

$$i_{stat2} = i_{1,stat2} = \frac{U}{2 \cdot R} = \frac{40 \text{ V}}{20 \Omega} = 2 \text{ A}$$

c) Spannungen $u_{R1,stat2}(t)$ und $u_{R2,stat2}(t)$ und $u_{C,stat2}(t)$:

$$u_{R1,stat2} = u_{R2,stat2} = R \cdot i_{stat1} = 10 \Omega \cdot 2 \text{ A} = 20 \text{ V}$$

$$u_{C,stat2} = u_{R1,stat2} = 20 \text{ V}$$

Aufgabe 3.3: Berechnung des Einschwingvorganges (10 Punkte)a) Knotengleichung: $i(t) = i_C(t) + i_1(t)$ (1)

b) Maschengleichung M 1:

$$U = R \cdot i_1(t) + R \cdot i(t) \quad (2)$$

Maschengleichung M 2:

$$R \cdot i_1(t) = R \cdot i_C(t) + u_C(t) \quad (3)$$

c) Grundgesetz für C:

$$i_C(t) = C \cdot \frac{du_C(t)}{dt} \quad (4)$$

Die Energie kennzeichnende Größe ist die **Kondensatorspannung**, weil sie nicht springen kann / darf, da sonst d/dt unendlich würde. Das kann nicht sein, da keine unendliche Leistung zur Verfügung steht!

d)

$$(1) \text{ in } (2): \quad U = R \cdot i_1(t) + R \cdot [i_C(t) + i_1(t)] = 2 \cdot R \cdot i_1(t) + R \cdot i_C(t) \quad (5)$$

$$(3) \text{ in } (5): \quad U = 2 \cdot [R \cdot i_C(t) + u_C(t)] + R \cdot i_C(t) = 3 \cdot R \cdot i_C(t) + 2 \cdot u_C(t) \quad (6)$$

(4) in (6):

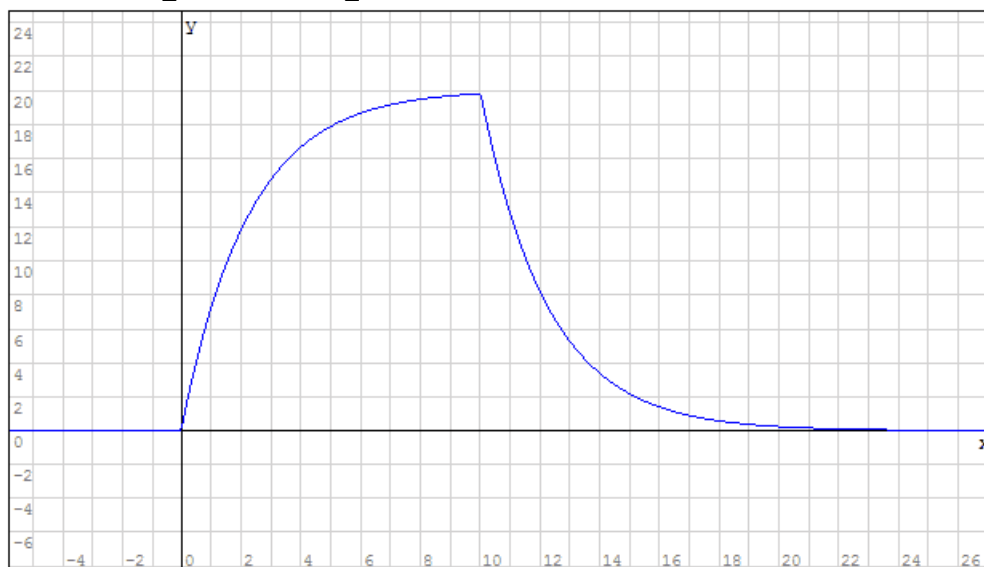
$$\frac{U}{2} = \frac{3}{2} \cdot R \cdot C \cdot \frac{du_C(t)}{dt} + 1 \cdot u_C(t)$$

e) $u_{C, \text{stat2}}$ und τ :

$$u_{C, \text{stat2}} = \frac{U}{2} = 20 \text{ V} \quad \tau = \frac{3}{2} \cdot R \cdot C = \frac{3}{2} 10 \Omega \cdot 150 \mu\text{F} = 2,25 \text{ ms}$$

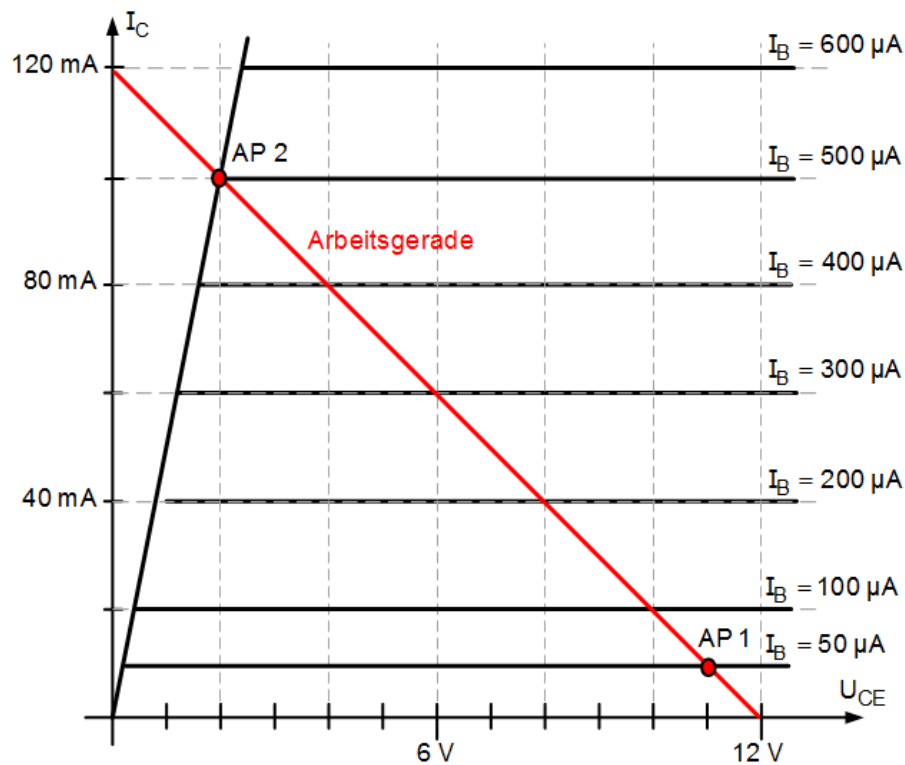
f) Konstante k aus Anfangsbedingung:

$$0 = k \cdot e^0 + \frac{U}{2} \Leftrightarrow k = -\frac{U}{2} = -20 \text{ V}$$


 $u_{C, \text{ges}}(x) \cdot (x > 0)$

Aufgabe 3.4:	Umschalten auf Schalterstellung „1“ (4 Punkte)
a)	In Schalterstellung 1 wird der Kondensator über den Widerstand R wieder entladen bis die Kondensatorspannung null ist!
b)	Kondensatorstrom $i_C(t = 10 \text{ ms})$ zum Umschaltzeitpunkt $t = 10 \text{ ms}$ $i_C(t = 10 \text{ ms}) = -\frac{u_{C,\text{stat2}}}{R} = -\frac{20 \text{ V}}{10 \Omega} = -2 \text{ A}$ $\tau_1 = R \cdot C = 10 \Omega \cdot 150 \mu\text{F} = 1,5 \text{ ms}$
c)	Verlauf für $t > 10 \text{ ms}$ in das obige Diagramm aus Aufgaben 3.2 f) eintragen!

Aufgabe 4.1:	Allgemeinverständnis - (8 Punkte)
a)	Funktion des Transistors: Der Transistor wird hier als Schalter benutzt (schaltet bzw. steuert die Last).
b)	$U_{BE} = \text{konstant} \neq f(I_B)$ beinhaltet: Dies bedeutet eine Vernachlässigung des Basis-Emitter-Widerstandes, d.h. $R_{BE} = 0 \Omega$.
c)	$R_{CE} \rightarrow \infty \Omega$ beinhaltet: Die gesteuerte Quelle im Kollektor-Emitter-Kreis ist ideal.
d)	Nennstrom $I_N = I_{C,N}$ und die Nennspannung $U_{L,N}$ des Verbrauchers: $I_N = \sqrt{\frac{P_N}{R_L}} = \sqrt{\frac{1 \text{ W}}{100 \Omega}} = 100 \text{ mA} \quad U_{L,N} = R_L \cdot I_N = 100 \Omega \cdot 100 \text{ mA} = 10 \text{ V}$
e)	Arbeitsgerade: 2 Punkte: 1. $I_C = 0 \text{ mA}$ $U_{CE} = U_{\text{Bat}} = 12 \text{ V}$ 2. $U_{CE} = 0 \text{ V}$ $I_C = \frac{U_{\text{Bat}}}{R_L} = \frac{12 \text{ V}}{100 \Omega} = 120 \text{ mA}$ In nachfolgendes Kennlinienfeld eintragen!


Aufgabe 4.2: Arbeitspunkt AP 1 - (5 Punkte)

a) Kollektorstrom $I_{C,AP1}$, und den zugehörigen Basisstrom $I_{B,AP1}$, sowie den Vorwiderstand R_1 :

$$I_{C,AP1} = \sqrt{\frac{0,01 \cdot P_N}{R_L}} = \sqrt{\frac{0,01 \cdot 1 \text{ W}}{100 \, \Omega}} = 10 \text{ mA}$$

$$I_{B,AP1} = \frac{I_{C,AP1}}{\beta} = \frac{10 \text{ mA}}{200} = 50 \, \mu\text{A}$$

$$R_{1,AP1} = \frac{U_{\text{Bat}} - U_{\text{BE}}}{I_{B,AP1}} = \frac{12 \text{ V} - 0,6 \text{ V}}{50 \, \mu\text{A}} = 228 \text{ k}\Omega$$

b) Verlustleistung $P_{\text{Tr},AP1}$ im Transistor:

$$P_{\text{Tr},AP1} = U_{\text{CE},AP1} \cdot I_{C,AP1} = I_{C,AP1} \cdot (U_{\text{Bat}} - R_L \cdot I_{C,AP1})$$

$$P_{\text{Tr},AP1} = 10 \text{ mA} \cdot (12 \text{ V} - 100 \, \Omega \cdot 10 \text{ mA}) = 110 \text{ mW}$$

Verluste im Basis-Emitter Kreis können vernachlässigt werden.
Ohne Vernachlässigung gibt es keinen Punktabzug!

c) Arbeitspunkt AP 1 in das obige Ausgangskennlinienfeld einzeichnen!

Aufgabe 4.3: Arbeitspunkt AP 2 - (7 Punkte)

a) Kollektorstrom $I_{C,AP2}$, und den zugehörigen Basisstrom $I_{B,AP2}$, sowie den Vorwiderstand R_1 :

$$I_{C,AP2} = I_N = 100 \text{ mA}$$

$$I_{B,AP2} = \frac{I_{C,AP2}}{\beta} = \frac{100 \text{ mA}}{200} = 500 \mu\text{A}$$

$$R_{1,AP2} = \frac{U_{\text{Bat}} - U_{\text{BE}}}{I_{B,AP2}} = \frac{12 \text{ V} - 0,6 \text{ V}}{500 \mu\text{A}} = 22,8 \text{ k}\Omega$$

b) Arbeitspunkt AP 2 in das obige Ausgangskennlinienfeld einzeichnen!

c) Verlustleistung $P_{\text{Tr},AP2}$ im Transistor:

$$P_{\text{Tr},AP2} = U_{\text{CE},AP2} \cdot I_{C,AP2} = I_{C,AP2} \cdot (U_{\text{Bat}} - R_L \cdot I_{C,AP2})$$

$$P_{\text{Tr},AP1} = 100 \text{ mA} \cdot (12 \text{ V} - 100 \Omega \cdot 100 \text{ mA}) = 200 \text{ mW}$$

Verluste im Basis-Emitter Kreis können vernachlässigt werden.
Ohne Vernachlässigung gibt es keinen Punktabzug!

c) Verdopplung des Basisstromes auf $I_B = 2 \cdot I_{B,AP2}$ bewirkt:

Der Arbeitspunkt bleibt bei AP 2. Der Transistor ist in der Sättigung. $U_{\text{CEsat}} = 2 \text{ V}$.

Aufgabe 5.1: Grundschtaltung (7 Punkte)

a) Grundschtaltung: **Es handelt sich um zwei Komparator-Schaltungen.**

b) u_{d1} und u_{d2} in Abhängigkeit von u_e , $U_{\text{ref},1}$ und $U_{\text{ref},2}$:

$$u_{d1} = U_{\text{ref},1} - u_e$$

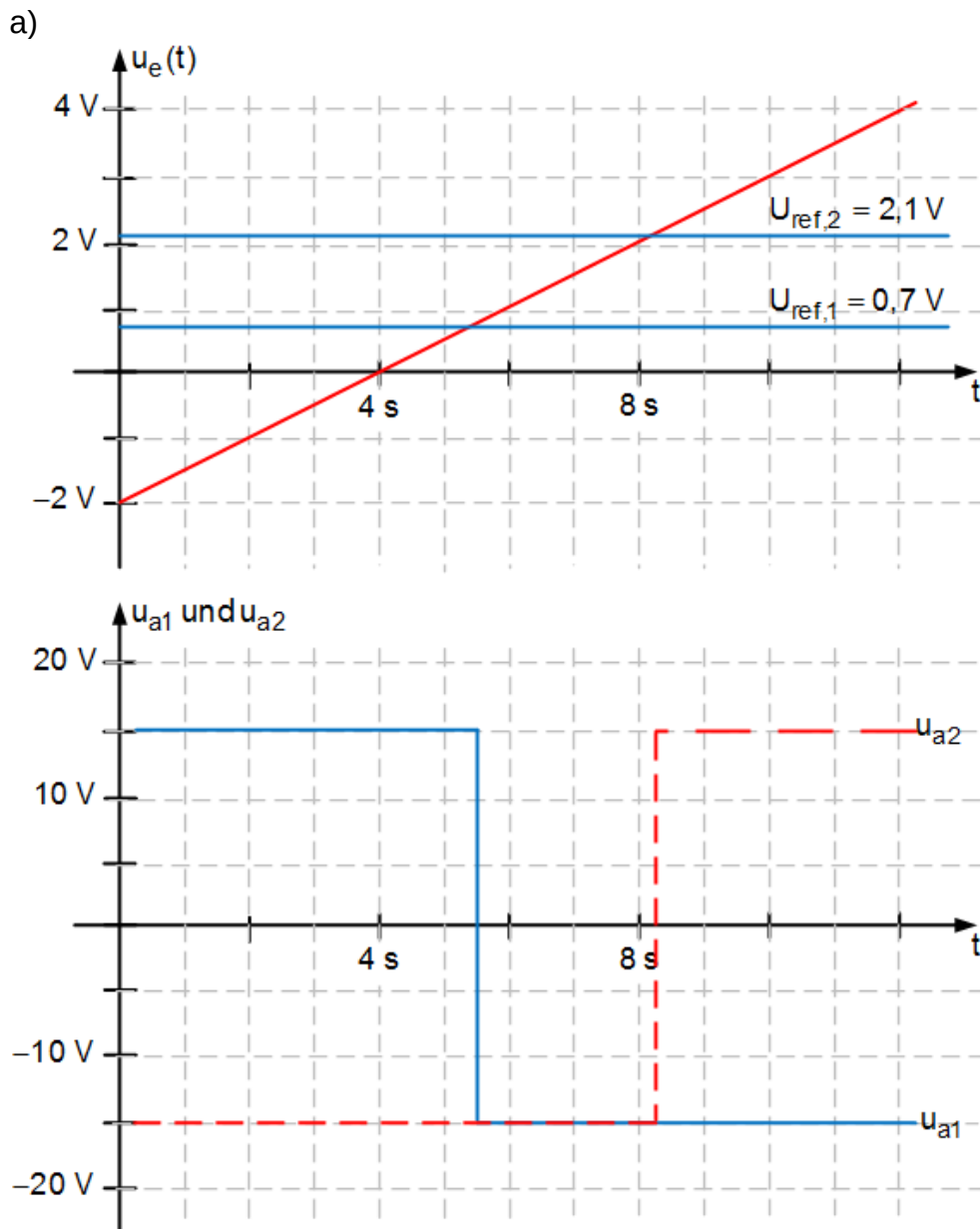
$$u_{d2} = u_e - U_{\text{ref},2}$$

Zu b) u_{a1} und u_{a2} in Abhängigkeit von u_e , $U_{ref,1}$ und $U_{ref,2}$

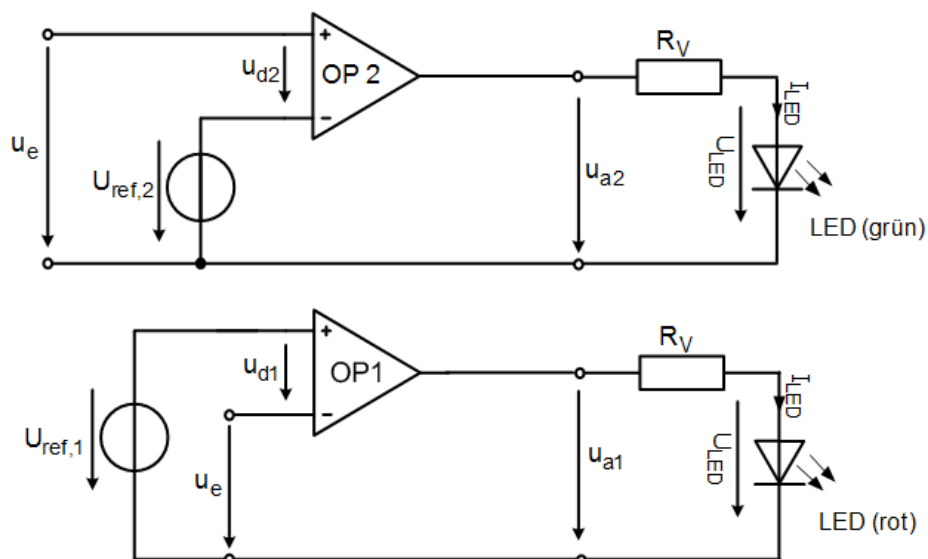
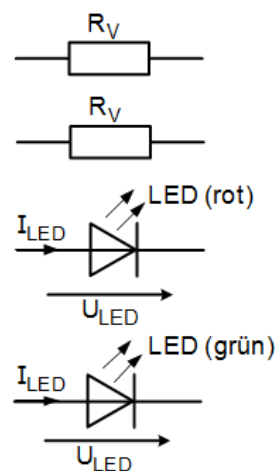
$$u_{a1} = \begin{cases} +15 \text{ V} & \text{für } u_{d1} > 0 \text{ V, dh } u_e < U_{ref,1} \\ -15 \text{ V} & \text{für } u_{d1} < 0 \text{ V, dh } u_e > U_{ref,1} \end{cases}$$

$$u_{a2} = \begin{cases} +15 \text{ V} & \text{für } u_{d2} > 0 \text{ V, dh } u_e > U_{ref,2} \\ -15 \text{ V} & \text{für } u_{d2} < 0 \text{ V, dh } u_e < U_{ref,2} \end{cases}$$

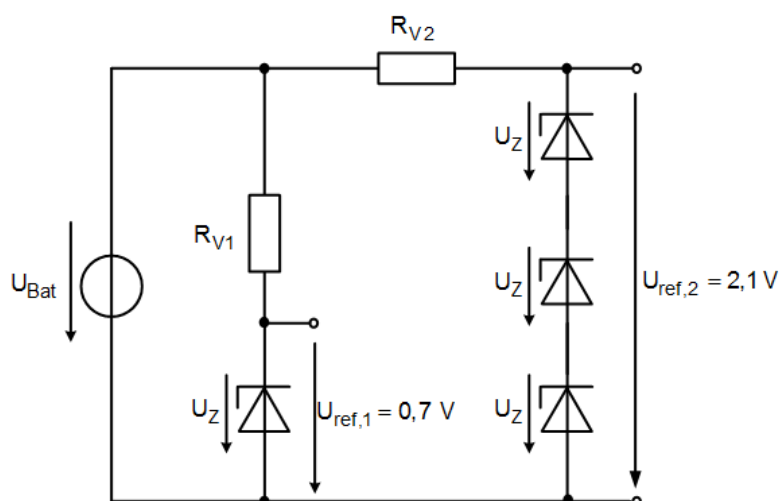
Aufgabe 5.2: Linear ansteigende Eingangsspannung (13 Punkte)



b) Ergänzen:

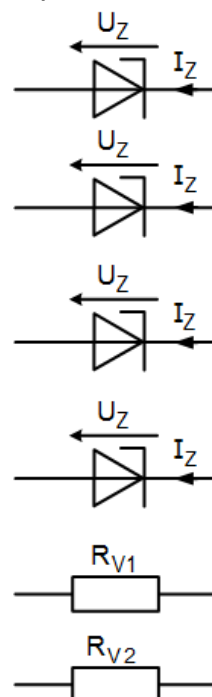
Zur Verfügung stehende
Zweipole (Bauelemente):c) Werte der Vorwiderstände R_V für $U_{LED} = 1\text{ V}$ und $I_{LED} = 20\text{ mA}$:

$$R_V = \frac{u_{a\max} - U_{LED}}{I_{LED}} = \frac{15\text{ V} - 1\text{ V}}{20\text{ mA}} = 700\ \Omega$$

d) Schaltungen zur Erzeugung der Referenzspannungen $U_{ref,1}$ und $U_{ref,2}$:

$$R_{V1} = \frac{U_{Bat} - U_Z}{I_Z} = \frac{15\text{ V} - 0,7\text{ V}}{20\text{ mA}} = 715\ \Omega$$

$$R_{V2} = \frac{U_{Bat} - 3 \cdot U_Z}{I_Z} = \frac{15\text{ V} - 2,1\text{ V}}{20\text{ mA}} = 645\ \Omega$$

Zur Verfügung stehende
Zweipole (Bauelemente):**Gegeben:**

$$U_{Bat} = 15\text{ V}$$

$$U_Z = 0,7\text{ V und } I_Z = 20\text{ mA}$$

Aufgabe 6.1:

Betrachtung der GM im Nennbetrieb (9 Punkte)

a) Erregerverluste $P_{F,N}$ in W:

$$P_{F,N} = \frac{U_{F,N}^2}{R_F} = \frac{(220 \text{ V})^2}{110 \Omega} = 440 \text{ W}$$

Vom Anker elektrisch aufgenommene Leistung $P_{A,N}$ in kW:

$$P_{A,N} = U_{A,N} \cdot I_{A,N} = 600 \text{ V} \cdot 200 \text{ A} = 120 \text{ kW}$$

Die mechanisch abgegebene Leistung P_N in kW:

$$\eta_N = \frac{P_N}{P_{A,N} + P_{F,N}} \quad P_N = \eta_N \cdot (P_{A,N} + P_{F,N}) = 0,95 \cdot (120 \text{ kW} + 0,44 \text{ kW}) = 114,418 \text{ kW}$$

Ankerwiderstand R_A in $\text{m}\Omega$:

$$P_{VA,N} = P_N - P_{A,N} = 120 \text{ kW} - 114,418 \text{ kW} = 5.582 \text{ W}$$

$$R_A = \frac{P_{VA,N}}{I_{A,N}^2} = \frac{5.582 \text{ W}}{(200 \text{ A})^2} = 139,55 \text{ m}\Omega$$

Induzierte Spannung $U_{i,N}$ in V:

$$U_{i,N} = U_{A,N} - R_A \cdot I_{A,N} = 600 \text{ V} - 139,55 \text{ m}\Omega \cdot 200 \text{ A} = 572,09 \text{ V}$$

Konstante $c \cdot \Phi_N$ in Vs:

$$c \Phi_N = \frac{U_{i,N}}{2 \cdot \pi \cdot n_N} = \frac{572,09 \text{ V}}{2 \cdot \pi \cdot \frac{3.000 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}}} = 1,821 \text{ Vs}$$

Nennmoment M_N in Nm:

$$M_N = c \Phi_N \cdot I_{A,N} = 1,821 \text{ Vs} \cdot 200 \text{ A} = 364,2 \text{ Nm}$$

Aufgabe 6.2:

Betrachtung der GM im realen Leerlauf (11 Punkte)

a) Ankerstrom I_A :

$$P_A = P_{V,A} + P_{Rbg}$$

$$U_A \cdot I_A = R_A \cdot I_A^2 + P_{Rbg}$$

$$R_A \cdot I_A^2 - U_A \cdot I_A - P_{Rbg} = 0$$

$$I_A^2 - \frac{U_A}{R_A} \cdot I_A - \frac{P_{Rbg}}{R_A} = 0$$

$$I_{A/12} = \frac{U_A}{2 \cdot R_A} \pm \sqrt{\left(\frac{U_A}{2 \cdot R_A}\right)^2 - \frac{P_{Rbg}}{R_A}} = \frac{600 \text{ V}}{2 \cdot 139,55 \text{ m}\Omega} \pm \sqrt{\left(\frac{600 \text{ V}}{2 \cdot 139,55 \text{ m}\Omega}\right)^2 - \frac{3.000 \text{ W}}{139,55 \text{ m}\Omega}}$$

$$I_{A/12} = 2.149,77 \text{ A} \pm 2.144,76 \text{ A}$$

$$I_{A/1} = 2.149,77 \text{ A} + 2.144,76 \text{ A} \approx 4.295 \text{ A}$$

physikalisch nicht sinnvolle Lösung, da Strom zu groß

$$I_{A/2} = 2.149,77 \text{ A} - 2.144,76 \text{ A} \approx 5 \text{ A}$$

physikalisch sinnvolle Lösung

b) induzierte Spannung U_i :

$$U_i = U_A - R_A \cdot I_{A/2} = 600 \text{ V} - 139,55 \text{ m}\Omega \cdot 5 \text{ A} = 599,3 \text{ V}$$

c) $c \cdot \Phi$ (in Vs):

$$c \cdot \Phi = \frac{U_i}{2 \cdot \pi \cdot n_N} = \frac{599,3 \text{ V}}{2 \cdot \pi \cdot \frac{3.000 \text{ min}^{-1}}{60 \text{ s} \cdot \text{min}^{-1}}} = 1,9076 \text{ Vs}$$

d)

Wird der Fluss weiter erhöht so nimmt die induzierte Spannung der GM weiter zu (Drehzahl konstant!) und die GM geht für $U_i > U_A$ vom Motorbetrieb in den Generatorbetrieb.